

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22685022

研究課題名(和文) バイオミネラルにならう材料合成の新展開 - 有機結晶・高分子の成長制御と階層化へ

研究課題名(英文) New Approaches for Materials Syntheses Inspired by Biomineralization: Growth Control and Hierarchical Organization of Organic Crystals and Polymer

研究代表者

緒明 佑哉 (Oaki, Yuya)

慶應義塾大学・理工学部・講師

研究者番号：90548405

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,800,000円、(間接経費) 4,440,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、自然界の有機無機複合体であるバイオミネラルの形成プロセスおよび構造を応用した材料合成を新しい方向へ展開することを目指すものである。生物にならう材料合成を無機材料からより幅広い物質・材料系へ積極的に展開し、有機結晶や高分子材料の成長制御と階層構造の構築を行った。さらに、得られた材料の光化学特性や電子デバイスとしての応用に関する検討を行った。本研究により、様々な他の有機材料の構造制御に適用しうる新しい手法が提案できたと言える。

研究成果の概要(英文)：The present study is development of biomimetic approaches for syntheses and structure control of organic materials, such as organic polymers and crystals. Biominerals are inorganic/organic composite consisting of inorganic crystals and organic macromolecules. The structure and formation processes inspire the researchers to develop a new approach for materials syntheses. Biomimetic approaches have been studied mainly in inorganic materials. In the current work, biomimetic approaches were expanded to syntheses, structure control, and application of organic materials.

研究分野：材料化学

科研費の分科・細目：無機工業材料

キーワード：バイオミネラル 有機無機複合体 ナノ材料 高分子 結晶成長制御 有機結晶 階層構造 形態形成

## 1. 研究開始当初の背景

本研究は、温和な条件下での無機材料合成で得られた知見と手法を積極的に有機結晶や高分子材料へと展開し、形態・ナノ構造・階層構造制御を行うことで、分子設計とは異なるアプローチから機能開拓を目指すものである。貝殻や骨などのバイオミネラルは、温和な水溶液プロセスから形成する機能性の無機有機複合体であり、国内外問わず多くの研究者が無機材料合成の手本として注目されてきた。手本となるバイオミネラルの組成や構造に関して様々な研究が行われている。さらに、バイオミネラルの形成過程にならう無機材料の低温合成、結晶成長の制御、無機有機複合材料の作製も数多く試みられている。しかし、これまでのバイオミネラルの構造解析やそれにならう無機材料合成に関して、基礎的な研究は飽和に近づいており、今こそ新しい方向性への展開が求められている。対象とする物質がほとんど無機結晶に限られていたこのようなプロセスを、系統的に有機材料の作製への展開することは新しい試みといえる。

一方、結晶構造ではない有機分子集合体は、多様な分子設計およびその集合構造制御による機能化に関して、有機化学・超分子化学の分野において盛んに行われている。また、単結晶構造解析のための有機分子の結晶化方法や結晶多形制御の方法に関する研究も歴史が深い。しかし、無機材料と比較して、結晶成長の視点を基盤とした有機結晶の形態・ナノ構造・階層構造制御と機能開拓に関する研究は少ない。

研究代表者は、これまで生物にならう材料合成として、バイオミネラルの見どころであったナノ構造の発見や、有機分子や高分子を用いた無機材料の水溶液合成に関して成果をあげている。本研究では、生物にならう材料合成の新展開を目指す。無機材料に関して得られた知見を有機材料へ積極的に展開するため、以降の3つの目的を設定し、研究を行った。

## 2. 研究の目的

(1)~(3)に示す3つの目的を設定した。

- (1) バイオミネラルの形成プロセスにならう有機結晶の成長制御からの階層構造の構築
- (2) バイオミネラルの階層構造を鋳型とした有機分子・高分子の成長制御による材料合成
- (3) (1,2)より得られた材料からの新しい機能開拓 - 光化学・電気化学特性 -

自然界の有機無機複合体であるバイオミネラルの形成プロセスおよび構造を応用した材料合成を新しい方向へ展開し、環境低負荷な温和で簡便なプロセスから有機結晶や高分子の成長制御と階層構造の構築を目指した。これまで無機材料が中心であった生物にならう材料合成を、有機分子の結晶・高分子などのより幅広い物質・材料系へ積極的に展開し、形態・ナノ構造・階層構造の制御を

行った。また、バイオミネラルの機能的な階層構造を鋳型とし、有機分子・高分子の階層構造構築を目指した。これらより、有機分子や高分子の分子設計とは異なる、有機材料の形態・ナノ構造・階層構造の成長制御から新しい機能開拓へのアプローチを行った。

## 3. 研究の方法

目的に示した(1)-(3)を順次進めた。目的(1)および(2)を基盤として並列で進行させ、目的(3)として作製した材料の機能開拓を試みる。目的(1)では、無機材料の水溶液合成の知見を発展させるため、水溶性有機分子の結晶成長制御から実験を始め、水溶性以外の様々な有機分子による階層構造構築へ移行させた。目的(2)では、鋳型とするバイオミネラルの機能構造を詳細に解析した後、無機高分子の合成・導入から始め、有機高分子・有機分子の導入による階層構造構築へ展開した。目的(3)では、形態制御・ナノ構造・階層構造と機能の関連性を明らかにしながら、光化学、電気化学的機能の評価を行った。最終的には、目的(1),(2)のような方法論と目的(3)から評価した機能を総括し、生物にならう環境にやさしい材料合成の新展開として、ひとつの材料設計指針として研究をまとめた。

## 4. 研究成果

### (1)目的(1)に対応する研究成果

バイオミネラルの形成プロセスにならう視点として、新しく2つのバイオミネラルを選び、その構造や形成プロセスの理解に関する検討を行った。具体的には、貝殻稜柱層の構造解析と形成機構の解明および魚類の表皮に存在する有機結晶の構造解析を行った。いずれも、ユニット結晶が結晶方位をそろえて整列した構造を持っており、それらが有機分子によって成長制御されていることがわかった。

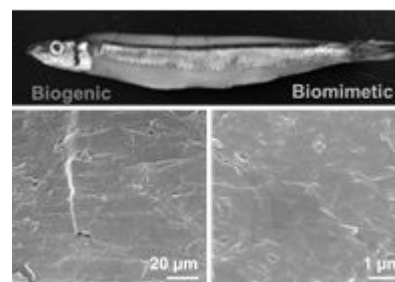


図1. 魚の体表に存在するグアニン結晶の構造(左下)とそれを模倣したプロセスにより作製した構造(右下). *J. Mater. Chem.*, 2012, 22, 22686-22691 より、英国化学会の許可を得て転載.

次に、これらにならう有機分子・高分子の成長制御を行った。魚類の表皮に存在する有機結晶に類似した構造体の作製を行った(図1)。これは、これまでの水溶液中における

無機結晶の成長制御の知見を有機結晶の系へ展開するための予備実験と位置付けられる。グアニンなどのプリン誘導体結晶を、水溶液中から有機高分子の共存下で成長させると、魚の体表と同じようにユニット結晶が方位をそろえて整列した構造を得ることができた。さらに、これらを有機溶媒からの有機結晶の成長制御へ応用できることを見出した。

### (2)目的(2)に対応する研究成果

バイオミネラルはナノからマクロスケールにわたり階層的に制御された構造と形態を有している。これは、ナノ結晶をユニットとして結晶方位をそろえて集積した構造によって構成されている。ナノ結晶間には間隙が存在し、ここに、モノマーや有機分子を導入することで、複合体の形勢やさらに高分子や有機結晶にその階層的な形態を写し取ることが可能である。そこで、様々な鑄型となりうるナノ結晶から構成された階層構造体の作製に成功した。例えば、マンガン、チタン、スズ、銅、鉄などの酸化物について、有機分子やモノマーを導入しうる構造体の形成に成功した。

次に、ナノ結晶から構成されるバイオミネラルのナノスケールの空間にモノマーや有機結晶を導入することで、様々な高分子や有機結晶に階層的な形態を付与することに成功した。具体的には、ナノスケールの空間にモノマーの液体を含浸させ、その場で重合を行うことで、高分子を合成した。得られた複合体から、もとのバイオミネラルの構造を溶解させることで、形態が制御された高分子を得ることに成功した(図2)。本手法は、転写元となるバイオミネラルおよび転写先となる有機材料について様々な組み合わせにおいて適用可能であることを明らかにした。さらに、その形成メカニズムや条件検討を詳細に行い、一般的な手法としての発展性について議論を行った。

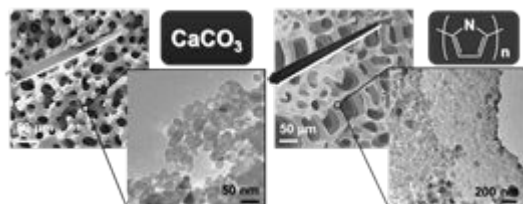


図2 . バイオミネラルの一種であるウニのトゲのもとの構造(左)とそれを転写した導電性高分子の構造(右) . J. Am. Chem. Soc., 2011, 133 (22), pp 8594-8599 より米国化学会の許可を得て転載 .

### (3)目的(3)に対応する研究成果

目的(1,2)より得られた材料の特性、機能性について検討を行った。(1)において、魚の体表の構造にならひ、導電性のパスを有する有機分子の結晶成長に成功した(図3)。これ

は、トランジスタとしての動作について検討を進めた。(2)において、導電性高分子の成長制御によって、酸化亜鉛/ポリピロール複合同軸構造を得ることができた。この材料においては、光照射の on-off に伴う大きな光電流の変化を観測することができた。これは、光スイッチ材料などへの応用が期待できる。また、(2)において、比表面積の高い鑄型を写し取って得られた導電性高分子を用いることで、表面を活用することで多量の電荷移動錯体を形成させることに成功した。

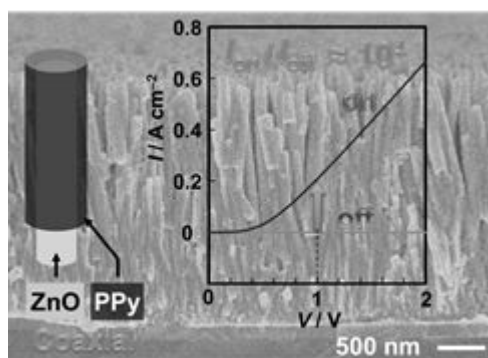


図3 . 酸化亜鉛/ポリピロール複合同軸ナノ構造とその光導電性特性 . J. Mater. Chem., 2012, 22, 21195-21200 より英国化学会の許可を得て転載 .

## 5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 20 件)

緒明佑哉, 今井宏明, “バイオミネラルイゼーションを応用した有機/無機複合材料の開発とこれからの研究開発テーマ”, *研究開発リーダー*, 査読無, 1, pp. 8-12 (2014).

緒明佑哉, 今井宏明, “バイオミネラルにまなぶ材料化学”, *農業機械学会誌*, 査読有, 第 75 巻, 第 1 号, pp. 4-10 (2013).

Yurika Munekawa, Yuya Oaki and Hiroaki Imai, “An Experimental Study on the Processes of Hierarchical Morphology Replication by Means of a Mesocrystal: A Case Study of poly(3,4-ethylenedioxythiophene)”, *Langmuir*, 査読有, Vol.30, No. 11, pp. 3236-3242, (2014).

DOI: 10.1021/la404942v

Keisuke Nakamura, Yuya Oaki and Hiroaki Imai, “Monolayered Nanodots of Transition Metal Oxides”, *J. Am. Chem. Soc.*, 査読有, Vol. 135, No. 11, pp. 4501-4508, (2013).

DOI: 10.1021/ja400443a

Yuya Oaki, Tatsuya Ikeda and Hiroaki Imai, “A Microbial-Mineralization-Inspired Approach for Systematic Syntheses of Copper Oxides with Controlled Morphologies in an Aqueous Solution at

Room Temperature”, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 査読有, Vol. 86, No. 7, pp. 821-828 (2013). [Selected Paper に選出]

DOI: 10.1246/bcsj.20130058

Tatsuya Ikeda, Yuya Oaki and Hiroaki Imai, “Thin Film of CuO Mesocrystal Nanosheets:

Microbial-Mineralization-Inspired

Approaches Applied to Formation of Thin Films”, *Chem. Asian J.*, 査読有, Vol. 8, No.9, pp. 2064-2069 (2013).

DOI: 10.1002/asia.201300493

Naoki Yagita, Yuya Oaki and Hiroaki Imai, “A Microbial-Mineralization Approach for Syntheses of Iron Oxides with a High Specific Surface Area”, *Chemistry–A European Journal*, 査読有, Vol. 19, No. 14, pp. 4419-4422, 2013.

DOI: 10.1002/chem.201204333

Yuya Oaki, Soichiro Kaneko and Hiroaki Imai, “Morphology and Orientation Control of Guanine Crystals: A Biogenic Architecture and Its Structure Mimetics”, *Journal of Materials Chemistry*, 査読有, Vol. 22, pp. 22686–22691 (2012).

DOI: 10.1039/C2JM33047D

Yuya Oaki, Takahiro Oki and Hiroaki Imai, “Enhanced Photoconductive Properties on a Simple Composite Coaxial Nanostructure of Zinc Oxide and Polypyrrole”, *Journal of Materials Chemistry*, 査読有, Vol. 22, pp. 21195–21200 (2012).

DOI: 10.1039/C2JM34525K

Misako Kijima, Yuya Oaki, Yurika Munekawa and Hiroaki Imai, “Synthesis and Morphogenesis of Organic and Inorganic Polymers by Means of Biominerals and Biomimetic Materials”, *Chemistry–A European Journal*, 査読有, Vol. 19, No. 7, pp. 2284–2293 (2012). [Selected as Back Cover]

DOI: 10.1002/chem.201203088

Yuya Oaki, Ryota Adachi and Hiroaki Imai, “Self-Organization of Hollow-Coned Carbonate Crystals through Molecular Control by Using an Acid Organic Polymer”, *Polymer Journal*, 査読有, Vol. 44, pp. 612-619 (2012).

DOI: 10.1038/pj.2012.29

Yuya Oaki, Keisuke Nakamura and Hiroaki Imai, “Homogeneous and Disordered Assembly of Densely Packed Titanium Oxide Nanocrystals: An Approach to Coupled Synthesis and Assembly in Aqueous Solution”, *Chemistry–A European Journal*, 査読有, Vol. 18, No. 10, pp. 2825-2831 (2012). [Selected as Cover Picture]

DOI: 10.1002/chem.201103585

Yuka Aoyama, Yuya Oaki, Ryuta Ise and

Hiroaki Imai, “Mesocrystal Nanosheet of Rutile TiO<sub>2</sub> and Its Reaction Selectivity as a Photocatalyst”, *CrystEngComm*, 査読有, Vol. 14, pp. 1405-1411 (2012).

DOI: 10.1039/C1CE05774J

Yuya Oaki, Naoki Yagita and Hiroaki Imai, “One-Pot Aqueous Solution Syntheses of Iron Oxide Nanostructures with Controlled Crystal Phases through a Microbial-Mineralization-Inspired Approach”, *Chemistry–A European Journal*, 査読有, Vol. 18, No. 1, pp. 110-116 (2012). [Selected as Cover Picture]

DOI: 10.1002/chem.201102663

Takao Kokubu, Yuya Oaki, Eiji Hosono, Haoshen Zhou and Hiroaki Imai, “Biomimetic Solid-Solution Precursors of Metal Carbonate for Nanostructured Metal Oxides: MnO/Co and MnO-CoO Nanostructures and Their Electrochemical Properties”, *Advanced Functional Materials*, 査読有, Vol. 21, No. 19, pp. 3673-3680 (2011).

DOI: 10.1002/adfm.201101138

Yuya Oaki, Misako Kijima and Hiroaki Imai, “Synthesis and Morphogenesis of Organic Polymer Materials with Hierarchical Structures in Biominerals”, *Journal of the American Chemical Society*, 査読有, Vol. 133, No. 22, pp. 8594–8599 (2011).

DOI: 10.1021/ja200149u

Misako Kijima, Yuya Oaki and Hiroaki Imai, “*In vitro* Repairing of a Biomineral with Mesocrystal Structure”, *Chemistry–A European Journal*, 査読有, Vol. 17, No. 10, pp. 2828-2832 (2011).

DOI: 10.1002/chem.201003203

Manabu Oba, Yuya Oaki and Hiroaki Imai, “A Microbial-Mineralization-Inspired Approach for Synthesis of Manganese Oxide Nanostructures with Controlled Oxidation States and Morphologies”, *Advanced Functional Materials*, 査読有, Vol. 20, No. 24, pp. 4279-4286 (2010).

DOI: 10.1002/adfm.201000361

Yuya Oaki, Takeo Anzai and Hiroaki Imai, “Homogeneous and Disordered Assembly of Densely-Packed Nanocrystals”, *Advanced Functional Materials*, 査読有, Vol. 20, No. 23, pp. 4127-4132 (2010).

DOI: 10.1002/adfm.201001406

Ken Sakaushi, Yuya Oaki, Hiroaki Uchiyama, Eiji Hosono, Haoshen Zhou and Hiroaki Imai, “Aqueous Solution Synthesis of SnO Nanostructures with Tuned Optical Absorption Behavior and Photoelectrochemical Properties through Morphological Evolution”, *Nanoscale*, 査読有, Vol. 2, pp. 2424-2430 (2010).

DOI: 10.1039/C0NR00370K

[学会発表](計 27 件)

【国際会議発表】

Yuya Oaki, Misako Kijima and Hiroaki Imai, “Application of Nanospace in Mesocrystals for Preparation of Fusion Materials”, The 1st International Symposium on Fusion Materials, Toba, Japan, October 16, 2011.

Misako Kijima, Yuya Oaki and Hiroaki Imai, “In Vitro Repairing of Mesocrystals in a Biomineral”, 10th International Conference on Materials Chemistry (MC10), Manchester, UK, July 5, 2011.

Yuya Oaki, Takeo Anzai and Hiroaki Imai, “Aqueous Solution Syntheses of Amorphous Nano-Opal Structures Comprised of Metal Oxide Nanocrystals”, 11th International Conference on Ceramic Processing Science, Zurich, Switzerland, August 30, 2010

[ポスター発表]

Takahiro Oki, Yuya Oaki and Hiroaki Imai, “Solution Synthesis of Organic/Inorganic Composite Coaxial Nanocable Consisting of Zinc Oxide and Polypyrrole”, 3rd International Congress on Ceramics, Osaka, Japan, November 16, 2010.

Takeo Anzai, Yuya Oaki and Hiroaki Imai, “Aqueous Solution Synthesis of Amorphous Opal Structures Consisting of SnO<sub>2</sub> Nanocrystals”, 3rd International Congress on Ceramics, Osaka, Japan, November 15, 2010.

【国内会議発表】

[招待講演]

緒明佑哉, 今井宏明, “遷移金属酸化物ナノ結晶の均一かつ不規則な集積およびその剥離による単層ナノドットの合成”, 粉体粉末冶金協会 平成 25 年度秋季大会, 名古屋国際会議場, 名古屋, 2013 年 11 月 27 日.

[口頭発表]

加藤大介, 緒明佑哉, 今井宏明, “カーボンナノチューブと金属酸化物ナノ構造を用いた擬口タキサン構造の作製”, 日本化学会 第 94 春季年会, 名古屋大学東山キャンパス, 名古屋, 2014 年 3 月 30 日.

村松嶺, 緒明佑哉, 今井宏明, “酸化剤結晶を利用した固相-気相界面における導電性高分子の重合”, 第 23 回日本 MRS 年次大会, 横浜開港記念会館, 横浜, 2013 年 12 月 10 日.

宗川裕里加, 緒明佑哉, 今井宏明, “ウニのトゲの階層構造を利用した導電性高分子転写構造体の合成”, 高分子学会 第 62 回高分子討論会, 金沢大学角間キャンパス, 金沢, 2013 年 9 月 12 日.

本田真志, 緒明佑哉, 今井宏明, “溶液プロセスによる非極性有機媒質に分散可

能な酸化マンガンモノレイヤーの作製”, 日本セラミックス協会 第 26 回秋季シンポジウム, 信州大学(工学)キャンパス, 長野, 2013 年 9 月 5 日.

金子総一郎, 緒明佑哉, 今井宏明, “魚の表皮構造に着想を得たジアセチレン誘導体結晶の形態と配向性の制御およびその固相重合”, 日本化学会第 93 春季年会, 滋賀, 2013 年 3 月 25 日.

村松嶺, 緒明佑哉, 今井宏明, “高分子マトリクスと用いた酢酸銅樹枝状結晶の作製とそのパターンングテンプレートとしての応用”, 日本化学会第 93 春季年会, 滋賀, 2013 年 3 月 23 日.

池田達也, 緒明佑哉, 今井宏明, “室温の水溶液プロセスによる酸化銅薄膜の酸化状態と形態の制御”, 日本セラミックス協会 第 25 回秋季シンポジウム, 名古屋, 2012 年 9 月 20 日.

中村圭佑, 緒明佑哉, 今井宏明, “層状チタン酸ナノ結晶の単層剥離によるモノレイヤーナノドットの作製”, 日本セラミックス協会 第 25 回秋季シンポジウム, 名古屋, 2012 年 9 月 20 日.

八木田直樹, 緒明佑哉, 今井宏明, “鉄酸化細菌にならう結晶相の制御された高比表面積酸化鉄の合成”, 日本セラミックス協会 第 25 回秋季シンポジウム, 名古屋, 2012 年 9 月 20 日.

中村圭佑, 緒明佑哉, 今井宏明, “酸化チタンおよび酸化スズナノ結晶の均一で不規則な集積構造の作製”, 日本セラミックス協会 2012 年 年会, 京都, 2012 年 3 月 19 日.

大木貴広, 緒明佑哉, 今井宏明, “溶液プロセスによる酸化亜鉛-ポリピロール複合同軸ナノ構造の作製とその光応答性の評価”, 第 21 回日本 MRS 学術シンポジウム, 横浜, 2011 年 12 月 19 日.

八木田直樹, 緒明佑哉, 今井宏明, “鉄酸化細菌にならう水溶液プロセスによる酸化鉄の結晶相と形態の制御”, 日本セラミックス協会 第 24 回秋季シンポジウム, 札幌, 2011 年 9 月 7 日.

貴島美紗子, 緒明佑哉, 今井宏明, “バイオミネラルを利用した階層構造を持つポリピロールの合成”, 高分子学会 第 60 回高分子討論会, 岡山, 2011 年 9 月 29 日.

池田達也, 緒明佑哉, 今井宏明, “室温・水溶液プロセスによる酸化銅の酸化状態と形態の制御”, 日本セラミックス協会 2011 年 年会, 浜松, 2011 年 3 月 18 日.

中村圭佑, 緒明佑哉, 今井宏明, “酸化チタンナノ結晶の均一で不規則な集積構造の作製”, 日本セラミックス協会 2011 年 年会, 浜松, 2011 年 3 月 18 日.

青山由佳, 緒明佑哉, 今井宏明, “メソクリスタル構造を有するナノシート状ルチル型二酸化チタンの合成と光触媒活性”, 第 49 回セラミックス基礎科学討論会, 岡

山, 2011年1月11日.

[ポスター発表]

本田真志, 緒明佑哉, 今井宏明, “非極性有機媒質に分散可能な酸化マンガンモノレイヤーの合成”, 日本化学会秋季事業 第3回 CSJ 化学フェスタ 2013, タワーホール船堀, 東京, 2013年10月23日.  
金子総一郎, 緒明佑哉, 今井宏明, “トビウオの鱗条におけるヒドロキシアパタイト/コラーゲン複合体の階層構造”, 第7回バイオミネラリゼーションワークショップ, 東京, 2012年12月1日.

宗川裕里加, 緒明佑哉, 今井宏明, “ウニのトゲの階層構造を利用したポリ(3-ヘキルチオフェン)および9-ビニルカルバゾールの合成と形態制御”, 高分子学会第61回高分子討論会, 名古屋, 2012年9月20日.

金子総一郎, 緒明佑哉, 今井宏明, “魚の表皮の構造にならう形態および配向性が制御されたグアニン結晶の作製”, 高分子学会 第60回高分子討論会, 岡山, 2011年9月29日.

村松嶺, 緒明佑哉, 今井宏明, “高分子マトリクスを用いた金属塩樹枝状結晶の作製”, 第35回結晶成長討論会, 茨城, 2011年9月7日

[図書](計 1 件)

Yuya Oaki and Hiroaki Imai, “Recent Advances in Mesocrystals and Their Related Structures” *Nanoscience Volume 1: Nanostructures through Chemistry*, Ed. By Paul O'Brien, pp. 1-28, The Royal Society of Chemistry (2013). (分担執筆)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]

【アウトリーチ活動など】

学び体験フェア マナビゲート 2013, 「生き物の結晶にまなぶものづくり」

(参加者:1400名), 主催:NPO法人学びの支援コンソーシアム, 於:東京国際フォーラム, 日時:2013年8月17-18日.

塾内高校生のための夏休み研究体験, 「バイオミネラルのミクロ・ナノ構造に学ぶ結晶成長」(参加者:6名), 主催:慶應義塾大学理工学部, 於:慶應義塾大学矢上キャンパス, 日時:2013年8月1日.

アカデミーキャンプ2012第3期:「ナノテク最先端」研究紹介と体験教室を実施(参加者:福島県在住の小中学生約40名), 主催:アカデミーキャンプ実行委員会, 於:千葉県茂原市, 日時:2012年8月21日.

全国高校化学グランプリ2012・2次選考特別講演(参加者:中高生約80名), 主催:公益社団法人日本化学会, 於:慶應義塾大学日吉・矢上キャンパス, 日時:2012年8月10日.

ケーキサイエンス~川崎市立木月小学校-慶應義塾大学連携授業~:「生き物のような結晶をつくってみよう」講義と実験(参加者:小学生約50名), 於:川崎市立木月小学校, 日時:2011年10月28日.

ひらめきときめきサイエンス~ようこそ大学の研究室へ~KAKENHI:「生き物による結晶づくりを学び・まねしてみよう」講義と実験(参加者:中高生19名), 於:慶應義塾大学矢上キャンパス, 日時:2011年8月27日.

全国高校化学グランプリ2011・2次選考特別講演(参加者:中高生約80名), 主催:「夢・化学-21」委員会, 公益社団法人日本化学会, 於:慶應義塾大学日吉・矢上キャンパス, 日時:2011年8月20日.

アカデミーキャンプ2011 in 御殿場:「生き物と結晶とナノの世界」講義と実験(参加者:福島県在住の小中学生約40名), 主催:アカデミーキャンプ実行委員会, 於:静岡県御殿場市, 日時:2011年8月17日.

6. 研究組織

(1)研究代表者

緒明 佑哉(OAKI, Yuya)  
慶應義塾大学・理工学部・専任講師  
研究者番号:90548405

(2)研究分担者

( )  
研究者番号:

(3)連携研究者

( )  
研究者番号: